

KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA ALAT LAS LISTRIK

(Ir. Sapto Nisworo, M.T.) *

Abstract

The operation of electric arc-furnace by applying 3 or 1 phase electric network main power supply can be done through the process of stepping down by voltage transformer rectified by diode circuits. Non linear characteristic of the transformer causes harmonic distortion and power factor in the electric network.

Uncontinous operation of the electric arc-furnace result in variable power factor. The most efficient way of improving this phenomenon is using automatic switching of capacitor bank according to the needed values.

The research is done by installing the arc-furnace and PM 300 A power analyzer. The observation so that in no load condition indicates 0,9734 power factor in corresponds to total voltage harmonic distortion of 2.3056 %; in load of 2.6 mm arc-furnace indicates 0.8465 power factor in corresponds to total voltage harmonic distortion of 2.3702 %; in load of 3.2 mm arc-furnace indicates 0.8407 power factor in corresponds to total voltage harmonic distortion of 2.4541 %; in load of 5.2 mm arc-furnace indicates 0.8212 power factor in corresponds to total voltage harmonic distortion of 2.7923 %; Harmonic value generated by the arc-furnace are less 5 % as administrated by PT. PLN. While the power factor value in loaded condition administrated by PT. PLN, is 0.85.

To improve electric power factor is done by installing shunt capacitor to the electric arc-furnace. The calculation result in value of capacitance of 10.7011 mF at no load condition; 67.1735 mF at 2.6 mm electrode diameter load; 108.1548 mF at 3.2 mm electrode diameter load; 166.7223 mF at 5.2 mm electrode diameter load.

Installing the capacitor bank controlled automatically to corresponding values, result in losses of reactive power factor minimum. As consequence the method may increase the efficiency of electric power use caused by the use of electric arc-furnace.

Keywords: Reactive Power, Compensation, Arc-Furnace

I. LATAR BELAKANG

Industri pelanggan daya listrik dari PT. PLN (persero) yang mengoperasikan alat listriknya dengan faktor daya lebih kecil atau sama dengan 0,85 dikenakan biaya pemakaian dan Kvarh (PLN, 2000), untuk sistem tegangan nominal 20 kV dan

* Ir. Sapto Nisworo, M.T. adalah Dosen Fakultas Teknik Universitas Tidar Magelang

dibawahnya, termasuk sistem tegangan rendah 220 V, total cacat harmonik tegangan maksimum 5 % (Wardani, 1996).

Salah satu penggunaan daya listrik adalah untuk alat las, dalam melaksanakan kegiatannya alat las listrik ini menggunakan sumber daya listrik dari jala-jala yang dipakai bersama dengan alat-alat lain, sehingga akan timbul permasalahan:

- proses penurunan tegangan dengan menggunakan transformator akan mengakibatkan daya reaktif pada jala-jala listrik, sedang pada proses penyearahan dihasilkan daya listrik searah yang mengandung harmonik.
- jala-jala listrik 50 Hz yang tercampur dengan gelombang harmonik akan mengakibatkan gangguan pada sistem jala-jala listrik terutama untuk peralatan-peralatan tertentu yang peka terhadap harmonik akan terganggu unjuk kerjanya dan bahkan akan rusak, sehingga dipandang perlu diadakan penelitian untuk meminimisasi/menghilangkan harmonik tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Transformator daya listrik dalam keadaan berbeban menarik arus listrik penguatan sebagai rugi-rugi besi, arus yang timbul karena adanya inti besi, fluks menimbulkan arus Eddy dan arus histeresis yang dikenal dengan arus magnetisasi. Arus yang mengalir mengakibatkan rugi-rugi tembaga. Rugi-rugi besi ini akan mengakibatkan pergeseran vektor arus. (Fitzgerald, 1979)

Arus listrik bolak-balik sinusoida gelombang penuh yang disearahkan menghasilkan arus listrik setengah gelombang (Millman, 1985; Boylestand, 1992), bentuk gelombang listrik yang demikian akan menimbulkan gelombang frekuensi harmonik (Seguier, 1986). Busur api pada saat pengelasan akan menghasilkan gelombang harmonik yang tidak periodis (Pipes, 1992).

Untuk meminimumkan/menghilangkan gelombang-gelombang harmonik pada jala-jala listrik, perlu dipasang rangkaian tapis pelewat bidang yang sesuai. (Fink, 1975).

Menurut choudory (1999), transformator dalam keadaan tidak berbeban mengalirkan arus sekalipun tidak sebesar arus pada keadaan beban penuh, besar arus yang mengalir pada keadaan tidak berbeban disebabkan karena adanya arus Eddy dan arus magnetisasi ekuivalen dengan L (λ) dan $R(V_s)$ paralel dengan tegangan pencatu, komponen harmonik ke 3 pada tegangan catu mempunyai dampak yang tinggi pada arus harmonik dan cacat gelombang.

Induksi arus geometrik digunakan untuk penyearah setengah gelombang mendorong setengah getaran saturasi yang menghasilkan kurva magnetisasi pada setengah gelombang yang menimbulkan arus harmonik dan rugi daya (Warner, 1999)

Rugi daya pada transformator akan meningkat bilamana dioperasikan pada tegangan yang mengandung harmonik (Fuchs, 1997). Sedang pada gelombang bolak-balik yang disearahkan menimbulkan riak arus yang selanjutnya menimbulkan harmonik (Grotzbach, 1997).

Menurut Akdag (2000) elektroda busur api diekivalenkan dengan suatu hambatan dengan nilai yang bervariasi.

Pemasangan kapasitor paralel yang sesuai dengan alat listrik yang menimbulkan daya reaktif menghasilkan perbaikan faktor daya sebanding dengan nilai kapasitans yang terpasang (Saadat, 1999).

III. LANDASAN TEORI

Daya reaktif yang dihasilkan akibat beroperasinya alat listrik dapat diminimisasi dengan harus mempelajari penyebab dari daya reaktif pada alat listrik tersebut, antar lain:

- **daya dalam kawasan waktu**

Suatu jaring pasif yang umum dengan tegangan $v(t)$ dan arus yang dihasilkan $i(t)$ diperlihatkan pada gambar 2.1. Daya yang berubah terhadap waktu (*time variable power*) atau daya sesaat (*instantaneous power*) kedalam jaring adalah perkalian tegangan dan arus :

$$p(t) = v(t) i(t) \text{ dalam satuan (Watt) } \dots\dots\dots (1)$$

Jika $v(t)$ adalah sinusoida, maka setelah periode peralihan lewat, tegangan dan arus periodik menghasilkan suatu daya periodik. Berdasarkan perjanjian tanda, daya positif sesuai dengan suatu pengalihan energi dari sumber ke jaring dan daya negatif sesuai dengan pengembalian energi dari jaring ke sumber.

- **daya dalam keadaan tunak sinusoida**

Suatu jaringan pasif yang mengandung elemen induktif tunggal, tegangan terpasang $v = V_m \cos \omega t$ menghasilkan suatu arus sinus yang tertinggal dengan sudut 90° , $i = I_m \cos (\omega t - 90^\circ)$. Daya sesaat yang disalurkan :

$$p = vi = V_m I_m \cos (\omega t - 90^\circ) = \frac{1}{2} V_m I_m \sin 2 \omega t \dots\dots\dots (2)$$

Hasil persamaan (2) dalam selang waktu kondisi V dan I adalah tanda yang sama misalnya $0 < \omega t < \pi/2$, daya (p) adalah positif, energi akan dialihkan dari sumber ke elemen rangkaian induktif selama waktu tertentu. Dalam selang waktu lainnya seperti

$\pi/2 < \omega t < \pi$, daya (p) adalah negatif dan energi dikembalikan dari elemen rangkaian ke sumber. Melebihi satu getaran, nilai rerata dari p adalah nol.

Nilai efektif atau rms dari fungsi-fungsi sinus dan cosinus adalah

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}, I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \text{ sehingga daya rerata } P = V_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \theta \quad (W)$$

Faktor daya cosinus dari perbedaan sudut antara arus dan tegangan,

$$P_f \equiv \cos \theta \quad (3)$$

Sudut θ menyatakan sebuah faktor daya tertinggal jika $\theta > 0$ (arus tertinggal dari tegangan), atau faktor daya mendahului jika $\theta < 0$. Nilai faktor daya bervariasi antara nol sampai dengan satu.

- **Segitiga daya, daya kompleks**

Jaring pasif dalam kawasan frekuensi dengan impedans pengganti $Z = Z \angle \theta$ diperoleh :

$$\text{Faktor daya} = \cos \theta = \frac{R}{Z}$$

Dan karena $V_{\text{eff}} = I_{\text{eff}} Z$,

$$\text{Daya nyata } S = V_{\text{eff}} I_{\text{eff}} Z = I_{\text{eff}}^2 Z \quad (VA)$$

$$\text{Daya rerata } P = V_{\text{eff}} I_{\text{eff}} Z \cos \theta = I_{\text{eff}}^2 R \quad (W) \quad (4)$$

Selanjutnya S dinyatakan secara geometris sebagai sisi miring dan P sisi horisontal dari sebuah segitiga siku-siku. Segitiga ini secara sederhana merupakan diagram impedans yang diskala dengan faktor I_{eff}^2 . Lihat gambar 2.4 dan 2.5 . Sisi tegak dari segitiga tersebut adalah :

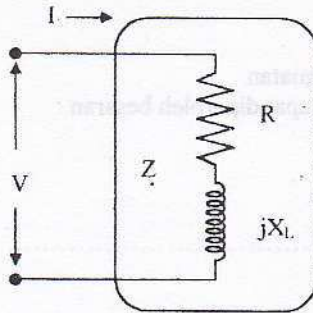
$$\text{Daya kuadratur } Q \equiv V_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \sin \theta = I_{\text{eff}}^2 X \quad (var) \quad (5)$$

Satuan Q adalah voltamper reaktif yang disingkat (VAR) , bila $\theta < 0$ merupakan VAR yang disebabkan beban yang bersifat kapasitif, sedang $\theta > 0$ VAR yang disebabkan beban yang bersifat induktif, untuk nilai $VAR = 0$ adalah jaring listrik dengan beban resistif murni.

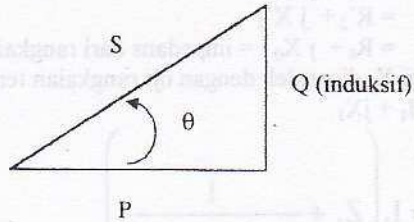
Berbagai besaran daya semuanya dapat diturunkan dari:

$$S \equiv V_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \text{ secara umum ditulis} \quad (6)$$

$$S \angle \theta = P + jQ \quad (7)$$



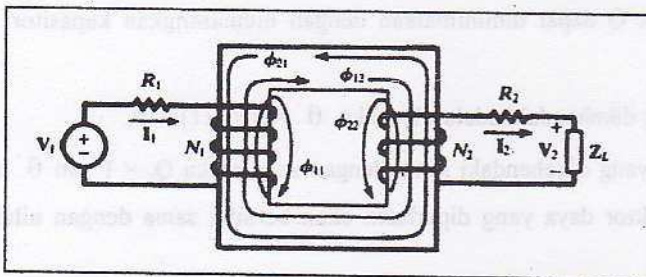
Gambar 1. Impedans pengganti Alat las listrik



Gambar 2. Segitiga daya

• Peningkatan faktor daya

Kumparan primer dengan jumlah lilitan N_1 dihubungkan dengan sumber daya listrik dari jala-jala, kumparan sekunder dengan jumlah lilitan N_2 disambung dengan penyearah dan selanjutnya ke beban/elektroda las. Gambar 1 memperlihatkan hambatan-hambatan kumparan yang parameternya tergumpal menjadi R_1 dan R_2 , arus I_2 mengakibatkan fluksi $\phi_2 = \phi_{21} + \phi_{22}$, sedang I_1 mengakibatkan fluksi $\phi_1 = \phi_{12} + \phi_{11}$. Untuk koefisien gandeng k didapat persamaan $\phi_{11} = (1-k)\phi_1$ dan $\phi_{22} = (1-k)\phi_2$. Secara teoritis induktans kebocoran dapat dikaitkan dengan induksi diri : $L_{11} = (1-k)L_1$ dan $L_{22} = (1-k)L_2$, demikian pula untuk reaktans bocor dapat ditulis menjadi $X_{11} = (1-k)X_1$ dan $X_{22} = (1-k)X_2$



Gambar 3. Fluks pada transformator

Impedans total antara ujung masukan dan ujung keluaran adalah :

$$Z = \left(Z_1 + \frac{1}{\frac{1}{Z'_2 + Z'_L} + \frac{1}{Z_m}} \right) \dots \dots \dots (8)$$

keterangan :

$$z_1 = R_1 + j X_1$$

$$z'_2 = R'_2 + j X'_2$$

$$z_m = R_0 + j X_0 = \text{impedans dari rangkaian penguatan.}$$

R_0 dan X_0 diperoleh dengan uji rangkaian terbuka dapat diperoleh besaran :

$$V_1 = I_1 + jX_1$$

$$V_1 = I_1 \left(Z_1 + \frac{1}{\frac{1}{z_2 + z'_L} + \frac{1}{z_m}} \right) \dots \dots \dots (9)$$

faktor reaktans (X) pada transformator akan menimbulkan pergeseran arus sebesar sudut θ^0 dari sudut tegangan. Fenomena tersebut sebagai penyebab adanya daya reaktif yang bernilai sebanding dengan besarnya faktor daya.

• Perbaikan faktor daya

Jaring listrik bolak-balik yang mengandung elemen induktans dan kapasitans akan mengakibatkan sudut pergeseran fasa sebesar θ antara arus dan tegangan. Mengacu gambar 2.4 diatas diberikan persamaan :

$V = |V| \angle \theta_v$ dan $I = |I| \angle \theta_i$ maka $V \cdot I$ didapatkan $|V||I| \angle \theta_v - \theta_i$, bila $\theta_v - \theta_i$ adalah θ , maka persamaan menjadi $|V||I| \cos \theta + j|V||I| \sin \theta$ atau lazimnya ditulis

$$S = P + jQ \dots \dots \dots (10)$$

Untuk daya komplek Q dapat diminimalkan dengan memasang kapasitor paralel dengan beban.

Bila faktor daya yang dikehendaki adalah 1, maka $\theta' = \cos^{-1}(1) = 0$,

Dengan faktor daya yang dikehendaki sama dengan satu, maka $Q_c = P \tan \theta'$ bernilai sama dengan nol, faktor daya yang diperbaiki akan bernilai sama dengan nilai VAR yang terukur.

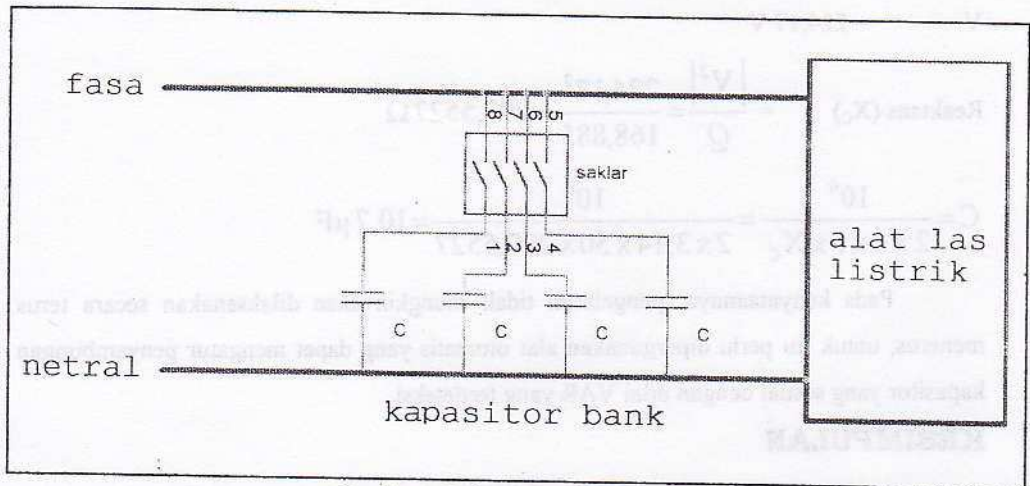
Nilai reaktans C yang harus dipasangkan sebesar

$$Z_c = \frac{|V|^2}{Q_c} \text{ dalam satuan Ohm.} \dots \dots \dots (11)$$

besar nilai kapasitans yang harusd dipasang :

$$C = \frac{10^6}{\omega Z_c} \text{ dalam mikro farad.} \dots\dots\dots (12)$$

Pemasangan kapasitor untuk kompensasi daya reaktif pada alat las listrik, dipasang secara paralel dengan alat las tersebut. Selengkapnya ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 4 Prinsip bank kapasitor

IV. HASIL PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN

Besar nilai total harmonik tegangan maksimal dari hasil penelitian sebesar 2,7923 %, nilai ini masih dibawah ambang yang disyaratkan oleh PT. PLN (persero) yaitu sebesar 5 % untuk tegangan dibawah 20 kV.

Pada saat alat las listrik digunakan nilai faktor daya turun, untuk diameter elektroda 2,6 mm nilai faktor daya sebesar 0,8465 dengan nilai VAR sebesar 1048,1069, untuk diameter elektro las 3,2 mm nilai faktor daya sebesar 0,8407 dan nilai VAR sebesar 1674,0163 dan untuk diameter elektroda las 5,2 mm besar nilai faktor daya 0,8412 dengan nilai VAR sebesar 2574,0940. Nilai faktor daya yang dihasilkan semuanya dibawah nilai yang disyaratkan oleh PT. PLN.(persero) sebesar 0,85. Sebagai akibat dari nilai VAR yang ditimbulkan alat las listrik tersebut, pihak pengguna dikenakan beban tambahan pembayaran kelebihan KVARh sebesar Rp. 371/KVARh untuk golongan tarif I-2 /TM.

Dengan menganggap seluruh besar nilai VAR dikompensasi, faktor daya yang direncanakan harus sama dengan satu, sudut anta arus dan tegangan sama dengan nol, daya

reaktif sama dengan nol, sehingga daya reaktif yang ditarik alat las dibangkitkan oleh pemasangan kapasitor secara paralel.

Dengan menganggap tegangan jaring sebesar nilai rerata yang terukur untuk fasa – netral, maka dapat dihitung sebagai berikut :

Untuk beban nol (tanpa beban elektroda las)

$$\text{Nilai } Q = 168,885 \text{ VAR}$$

$$V = 224,17 \text{ V}$$

$$\text{Reaktans } (X_C) = \frac{|V^2|}{Q} = \frac{224,17^2}{168,885} = 297,5527 \Omega$$

$$C = \frac{10^6}{2 \times \pi \times f \times X_C} = \frac{10^6}{2 \times 3,14 \times 50 \times 297,5527} = 10,7 \mu\text{F}$$

Pada kenyataannya, pengelasan tidak mungkin akan dilaksanakan secara terus menerus, untuk itu perlu dipergunakan alat otomatis yang dapat mengatur penyambungan kapasitor yang sesuai dengan nilai VAR yang terdeteksi.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan analisis dari hasil pengukuran dapat disimpulkan bahwa nilai daya reaktif :

- pada kondisi tanpa beban arus yang ditarik sebesar 3,2855 A, daya reaktif yang ditimbulkan adalah sebesar 168,855 VAR, faktor daya yang ditimbulkan sebesar 0,9734, nilai ini adalah rugi-rugi tetap yang cenderung disebabkan pemakaian transformator sebagai sumber tenaga las dan dibawah ketentuan yang disyaratkan oleh PT. PLN. sebagai penyedia daya,
- pada kondisi beban diameter elektroda 2,6 mm, arus yang ditarik sebesar 8,832 A, daya reaktif yang ditimbulkan sebesar 1048,1649 VAR, nilai faktor daya sebesar 0,8465. Untuk beban diameter elektroda 3,2 mm, besar arus yang ditarik sebesar 13,924 A, daya reaktif yang ditimbulkan 1674,0163 VAR, nilai faktor daya sebesar 0,8407, sedang untuk beban elektroda sebesar 5,2 mm, arus yang ditarik sebesar 20,6255 A, daya reaktif yang ditimbulkan sebesar 2574,0940 VAR. Nilai daya reaktif dengan berbagai diameter elektroda mempunyai nilai yang tidak linear, ditinjau dari faktor total harmonik arus meningkat dengan berubahnya nilai aelektroda dan jumlah arus yang mengalir.

Dengan pemasangan kapasitor bank dapat diperkecil pembiayaan tagihan daya listrik sebesar Rp. 61,4752/jam untuk kondisi menyala namun tidak bekerja dan bila bekerja dengan diameter elektroda 2,6 didapatkan nilai Rp. 392,0136/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Administer, J., 1983, *Electric Circuits*, McGraw-Hill Book Company, Japan.
- Alda, A., Cardici I., Nalcaci, E., Ermis, M., Tadakuma, S., 2000, *Effect Main Transformer Replecement on The Performance an Electric Arc Furnace System*, IEEE transaction on Industry Application Vol. 36 No. 2. pp: 649 – 647
- Boylestand, R. and Neshelsky, L., 1986, *Electronic Devices And Circuits Theory*, Pentice-Hall International, Inc., Mexico.
- Chuwddhury, A.,H., and Grady, W., M., andFuchs, E., F., 1999, *An Investigation of the Harmonic Charasteristics of Transformer Exitation Curren Under Nonsinusoidal Supply Voltage*, IEEE Transaction on Power Delevry, Vol. 14 No.2, April, pp. 450 – 458..
- Fink, D.G., 1975, *Electronics Engineers Handbook*, McGraw-Hill, Inc. London
- Grotzbach, M., and Ried, Ch., 1997, *Investigation af AC/DC Converter Harminics by an Analytical Based Time -Discrete Approach*, IEEE transaction on Power Delevry, Vol. 12 No. 2, pp 874 – 880.
- Lago, G.V., 1979, *Circuit And System Theory*, John Wiley & Son, New York.
- Milman-Halkias, 1985, *Integrated Electronics*, McGraw-Hill Book Company, Inc., Japan.
- Montanari, G.C., Loggini, M., Cavallini, A., Pitti, L., Zaninelli, D., 1994, *Arc-Furnace Model For The Study Of Flicker Compensation In Electrical Network*, 1994, IEEE Transaction on Power Delevry Vol.9 No. 4 pp: 2026 – 2033.
- Pipes, L.P., 1992, *Applied Mathematics Ang Phisicists*, McGraw-Hill Book Company, London.
- Rashid, M., H., 1998, *Power Electronics: Circuits, Device and Application*, Prantice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Seguier, G., 1986, *Power Electronic Converter*, McGraw-Hill Book Company, Japan.
- Theraja, B.L., 1978, *Electrical Technology*, Publication Division of Nirja Construction & Development Co(P) Ltd, New Delhi.
- Wardani, 1996, *Pengaruh Beban Industri Pada Mutu Tenaga Listrik*, Energi Listrik Vol VI, No. 2 Juni 1996.
- Warner, D., E., and Jewell, W., T., 1999, *An Investigation of Zero Order Harmonics in Power Transformer*, IEEE Transaction On Power Delevry, Vol. 14, No. 3, July, pp. 972 – 977.